

# Movimientos verticales durante el Messiniense en la Cuenca de Málaga (Cordillera Bética Occidental)

## *Messinian vertical movements in the Málaga Basin (Western Betic Chain)*

J.M. Insua Arévalo<sup>1</sup>, J.J. Martínez Díaz<sup>1</sup>, F. Martín González<sup>2</sup>, J. García Mayordomo<sup>3</sup> y R. Capote<sup>1</sup>

1 Dpto. Geodinámica. Fd. CC. Geológicas. U. Complutense de Madrid. c/ José Antonio Novais, 2. Madrid, 28040 Madrid. insuarev@geo.ucm.es

2 Área de Geología. ESCET. Universidad Rey Juan Carlos. C/Tulipán, s/n. Móstoles, 28933 Madrid

3 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), c/La Calera, 1 Tres Cantos, 28760 Madrid

**Resumen:** En este trabajo se analiza la distribución espacial de los sedimentos marinos tortonienses de la Cuenca de Málaga con el objetivo de estimar tasas de movimiento vertical durante el Messiniense. Para ello, se han determinado las máximas cotas topográficas actuales en cada afloramiento tortoniense, y una vez corregida la influencia de las variaciones del nivel del mar para el periodo de sedimentación y el posterior levantamiento plio-cuaternario, se han calculado sus tasas de levantamiento. Estas tasas varían entre 0,098 m/ka y 0,256 m/ka, con una tendencia a aumentar de Sur a Norte. Atendiendo a esta variación, las tasas estimadas no deben tomarse como un rango de valores entre los cuales se encontraría el levantamiento regional de la zona, sino, más bien, como un indicador de la deformación a la que se vio sometida la región durante dicho periodo. Esta deformación la relacionamos con el flanco sur de una antiforma de gran radio con eje E-O coherente con el modelo de generación de relieve propuesto para toda la Cordillera Bética desde el Tortonense.

**Palabras clave:** movimientos verticales, Messiniense, Tortonense, Cuenca de Málaga, Cordillera Bética Occidental.

**Abstract:** This work deals with the spatial distribution of the Tortonian marine sediments spread out over the Malaga Basin, with the main objective of estimating rates of vertical movements during the Messinian age. The current maximum topographic altitude from each of the Tortonian outcrops has been corrected by the eustatic variation of the sea level during the sedimentation period and by the Plio-Quaternary uplift. Uplift rates vary between 0.098 m/ky and 0.256 m/ky, showing the highest values toward the North. Regarding on this trend, these rates should not be taken as values of a range for the regional uplift, but as an effect of the regional deformation for that period, fitting a wide folding process related with the relief formation for the whole Betic Chain since the Tortonian age.

**Key words:** vertical movements, Messinian, Tortonian, Malaga Basin, Western Betic Chain.

## INTRODUCCIÓN

La Cuenca de Málaga es una cuenca intramontañosa localizada sobre las Zonas Internas de la Cordillera Bética Occidental. En ella se ha descrito un levantamiento general desde el Tortonense (Sanz de Galdeano y López Garrido, 1991). Atendiendo a las alturas de los depósitos tortonienses, Schoorl y Veldkamp (2003) cuantifican este levantamiento en un rango de valores que varía entre 0,160 y 0,276 m/ka para el periodo Messiniense.

Sin embargo, la distribución en altura de los depósitos sedimentarios de origen marino que dejó la transgresión Tortonense en la cuenca presenta variaciones espaciales que muestran un movimiento vertical diferencial para el periodo Messiniense.

En este trabajo se analiza la variación espacial de los movimientos verticales que han sufrido estos depósitos tortonienses, se estiman tasas de movimiento vertical durante el Messiniense y se interpretan en el contexto tectónico de la región.

## METODOLOGÍA

Se ha confeccionado un mapa en el que se han señalado los afloramientos de depósitos del Tortonense cartografiados en el mapa geológico de la serie MAGNA (Estévez González y Chamón, 1978a y b; Chamón y Quinquer, 1976). En estos afloramientos se ha determinado la altura topográfica a la que se encuentran en la actualidad por medio del modelo digital del terreno del Instituto Cartográfico de Andalucía. Esta altura se ha comparado con el nivel del mar que se alcanzó para el periodo Messiniense, que se establece en +10 m sobre el nivel del mar (msnm) actual, siguiendo la curva eustática de Haq et al. (1987). Esto nos ha permitido calcular el movimiento vertical durante el Messiniense que ha sufrido cada afloramiento, una vez corregido el posterior levantamiento plio-cuaternario (Insua Arévalo *et al.*, 2008). A partir de estos movimientos, y tras definir el momento en el que se alcanza el máximo nivel del mar para el ciclo contemplado (TB 3.2, ~7,3 Ma), se han calculado las tasas de levantamiento de cada zona

considerando una duración de ~2 Ma para el piso Messiniense.

## DISTRIBUCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS DEPÓSITOS TORTONIENSES

En la Cuenca de Málaga los depósitos del Tortoniense se encuentran principalmente en el Sureste de la Sierra de Cártama, y que en adelante denominaremos como el afloramiento tortoniense de El Romeral. Además existen pequeños afloramientos dispersos por los bordes de la cuenca, como los que se encuentran adosados a la Sierra de Mijas en las proximidades de Alhaurín de la Torre, al Oeste de Alhaurín el Grande, o en las inmediaciones de Coín, en el extremo occidental de la cuenca. (Fig. 1).

Sin embargo, en este periodo, la cuenca se extendía por el extremo occidental hacia el norte hasta conectar con el océano Atlántico que se introducía por el actual valle del Guadalquivir (López Garrido y Sanz de Galdeano, 1991). En este corredor Norte-Sur se conservan los principales afloramientos del Tortoniense de la zona: Pizarra, Álora y El Chorro. Estos afloramientos septentrionales están compuestos principalmente por conglomerados con cantos de gran tamaño, e incluso bloques que en la base pueden alcanzar dimensiones métricas. También incluyen niveles de arenisca, más abundantes hacia el techo de la formación, en una tendencia general granodecreciente. Estos materiales se depositaron en un ambiente sedimentario de abanico deltaico (Estévez González y Chamón, 1978a y b, Chamón y Quinquer, 1978), durante el Tortoniense Superior (López Garrido y Sanz de Galdeano, 1991). Presentan una cementación importante, lo que ha facilitado su conservación generando relieves significativos. La potencia que alcanzan estos depósitos es superior a los 400 m, aunque los procesos erosivos no permiten conocer la potencia total de la serie. En la actualidad estos afloramientos presentan una disposición estratigráfica prácticamente horizontal.

El afloramiento de El Romeral presenta algunas particularidades que lo distinguen de los anteriormente descritos. En primer lugar, se sitúa a una cota topográfica notablemente más baja (cota máxima a 219 msnm). Además, los materiales que lo forman incluyen principalmente conglomerados y areniscas. Los cantos de los conglomerados son de menor tamaño (tamaños grava, en ningún caso se encuentran bloques) y las areniscas son abundantes, sobre todo hacia el techo de la serie, en una tendencia general granodecreciente. La base no aflora en la zona, ya que se encuentra tapada por los sedimentos pliocenos y cuaternarios, a excepción de su contacto marginal con la Sierra de Cártama, sobre la que se deposita en *on-lap* sobre una discordancia erosiva. Esta localización indeterminada de la base del depósito, junto con los procesos erosivos posteriores, impide que conozcamos la potencia real de la serie en este afloramiento, pero que, en cualquier caso, ha de ser superior a los aproximadamente 190 m que afloran.

## ESTIMACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS VERTICALES DURANTE EL MESSINIENSE

Para la estimación de los movimientos verticales se considera un escenario donde el nivel de erosión de la parte alta de los sedimentos tortonienses está indeterminado pero se asume similar en todos los afloramientos, por lo que las variaciones en cota topográfica serían equivalentes al movimiento vertical relativo de éstos. Esta asunción introduce una incertidumbre en la evaluación de las tasas de elevación. Sin embargo, consideramos que la incertidumbre es aceptable, ya que en función de la naturaleza marina de los depósitos, su techo debió depositarse sin grandes diferencias de cota. Es interesante señalar además, que la incertidumbre que asumimos nos permitirá estimar tasas de movimiento vertical mínimas, ya que cualquier incremento de la acción erosiva disminuiría el valor del numerador en relación a un denominador temporal que se considerará fijo.

En la Tabla 1 se presenta las tasas de levantamiento para cada afloramiento y los principales datos que han sido utilizados para su estimación.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las tasas de levantamiento que afectan a los afloramientos de El Chorro, Álora y Pizarra, son idénticas a las obtenidas por Schoorl y Veldkamp (2003), ya que para su cálculo se ha seguido una metodología similar a la que proponen estos autores. Para el cálculo de las tasas de los afloramientos propios de la Cuenca de Málaga y, en particular, para el principal afloramiento de El Romeral, se ha seguido la misma metodología con alguna matización, ya que se han tenido en cuenta también la potencia y base de los depósitos.

Como se puede apreciar en la Tabla 1, la potencia de los afloramientos de El Chorro, Álora y Pizarra son muy superiores al afloramiento de El Romeral. Por correlación con los afloramientos más septentrionales, se puede pensar que la potencia del afloramiento de El Romeral superaría los 300 m en la estimación más conservadora, pudiendo llegar hasta los 450 si contemplamos el caso de Álora. Además, por sus características estratigráficas, pensamos que el afloramiento de El Romeral sería la parte más alta de la secuencia. Esto sugiere que la actividad erosiva fue similar en todos los afloramientos tortonienses. Esto implica que la base del afloramiento de El Romeral debe encontrarse a una cota muy inferior a la mínima cota que los sedimentos más modernos nos dejan apreciar, que es de 30 msnm. Así, se podría localizar la base deposicional del afloramiento tortoniense de El Romeral entre los -80 y los -230 msnm.

Por otra parte, en el afloramiento de El Romeral se aprecia un comportamiento distinto en cuanto a movimiento en la vertical respecto al resto de afloramientos tortonienses. Su base se encuentra como mínimo más de 200 m por debajo del resto. Aún así, la

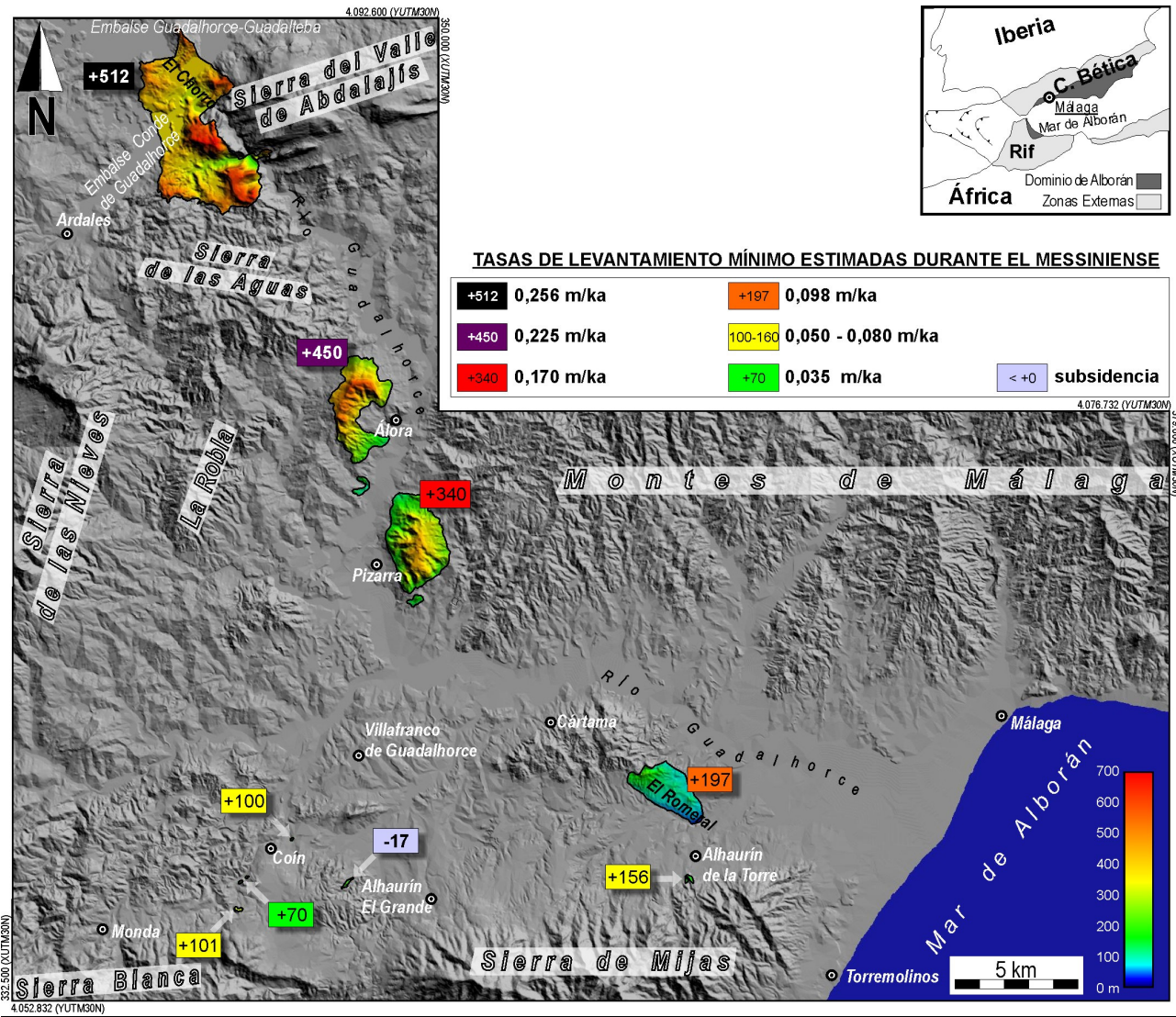


FIGURA 1. Distribución de los afloramientos tortonienses en la Cuenca de Málaga y su prolongación hacia el Norte hasta El Chorro. Se han señalado con flechas blancas los afloramientos menores. Las etiquetas marcan los levantamientos en metros durante el Messiniense. Se han estimado las correspondientes tasas de levantamiento para cada afloramiento.

Afloramiento	Granulometría de los depósitos	C <sub>min</sub> Cota mínima de la base msnm	C <sub>max</sub> Cota máxima de afloramiento msnm	Potencia mínima (C <sub>max</sub> - C <sub>min</sub> ) m	Levantamiento Plioceno+Q m	Levantamiento Messiniense m	Tasa de levantamiento Messiniense m/ka
El Chorro	Bloques, gravas y arenas	200	622	422	>100 <sup>(a)</sup>	512	0,256
Álora	Bloques, gravas y arenas	112	560	448	100 <sup>(a)</sup>	450	0,225
Pizarra	Bloques, gravas y arenas	103	440	337	90 <sup>(b)</sup> -100 <sup>(a)</sup>	330-340	0,170
Cuenca de Málaga	El Romeral	? (<30)	219	? (>189)	12 <sup>(b)</sup>	197	0,098
	A. de la Torre	132	181	49	15 <sup>(b)</sup>	156	0,078
	A. el Grande	157	203	46	210 <sup>(b)</sup>	-17	< 0
	Coín Norte	119	140	21	30 <sup>(b)</sup>	100	0,050
	Coín Sur	205	242	37	160 <sup>(b)</sup>	72	0,036
	Monda Este	285	321	36	210 <sup>(b)</sup>	101	0,050

TABLA 1. Tasa de levantamiento durante el Messiniense de la cuenca de Málaga en base a las cotas topográficas de los afloramientos de los depósitos tortonienses. <sup>(a)</sup> Datos de Schoorl y Veldkamp (2003). <sup>(b)</sup> Datos de Insua Arévalo *et al.* (2008).

cota de 219 msnm que alcanzan sus depósitos indica un movimiento vertical de al menos 209 m si se compara con el máximo nivel que alcanzó el mar (+10 m) en el Tortoniense Superior durante el ciclo TB 3.2, antes de iniciarse la regresión. En esta zona se ha identificado un movimiento en la vertical de tan solo +12 m desde el Plioceno (Insua Arévalo *et al.*, 2008), por lo que la mayor parte del movimiento que se puede observar en el afloramiento de El Romeral se puede atribuir al periodo Messiniense. Esto supone que el afloramiento se ha elevado, pero no tanto como el resto, calculándose una tasa de levantamiento en torno a 0,09 m/ka durante el Messiniense.

Por otro lado, en los márgenes de la Cuenca de Málaga aparecen una serie de afloramientos menores de depósitos tortonienses. Estos afloramientos parecen relictos marginales del surco sedimentario que se creó durante el Tortoniense Superior, y marcan sus límites paleogeográficos. Del análisis de la posición de cada uno de estos afloramientos y las cotas que alcanzan, una vez corregido el levantamiento que se produce desde el Plioceno, también se pueden calcular tasas de levantamiento local. Así, el afloramiento que se encuentra al Sur de Alhaurín de la Torre, adosado a la Sierra de Mijas, presentaría una tasa de levantamiento durante el Messiniense de 0,07 m/ka, mientras que los que se sitúan en torno a Coín varían de 0,03 a 0,05 m/ka. En el afloramiento situado al Oeste de Alhaurín el Grande el valor es incluso negativo, lo que implicaría subsidencia. Estos afloramientos menores nos ofrecen una idea de la precisión de los datos de tasa de levantamiento durante el Messiniense calculados. Estos valores son muy bajos (incluso negativos) comparados con los calculados para los afloramientos principales, y dada su escasa entidad nos hace pensar que una fuerte erosión ha desmantelado casi por completo el depósito original. Esta erosión sería consecuencia de la caída del nivel de base producido por la regresión marina, que junto con el levantamiento regional y factores climáticos, produciría el episodio conocido como la crisis de salinidad Messiniense. En este periodo se desmantelaría la práctica totalidad del material tortoniense, quedando como únicos testigos del periodo sedimentario los afloramientos anteriormente descritos. Esta fuerte erosión, sin duda, ha afectado también a los grandes afloramientos, lo que igualmente significaría que los valores de tasas de levantamiento son mínimos en términos absolutos.

No obstante, es interesante ver como en términos relativos se puede apreciar un incremento en la tasa de movimiento vertical de Sur a Norte.

## INTERPRETACIÓN TECTÓNICA

La variación de tasa de movimiento vertical de Sur a Norte supone una elevación preferente hacia las Zonas Externas de la cordillera, quedando las Zonas Internas con un levantamiento menor. Esta deformación presenta un gradiente bastante continuo, y no estaría asociado a saltos de falla importantes, ya que no se contempla la presencia de fallas E-O que

articulen movimientos verticales en esta zona, a excepción de pequeños retoques asociados a fallas NO-SE y NE-SO. Pero esta tendencia se puede considerar tan solo a nivel mesoregional, ya que, al norte del afloramiento de El Chorro, el Tortoniense llega a estar incluso por debajo del nivel del mar actual en la cuenca del Guadalquivir cubierto por sedimentos posteriores. Esta distribución de depósitos se ajusta al flanco meridional de una antiformal de gran radio con eje E-O coherente con el modelo de generación de relieve propuesto para toda la Cordillera Bética en base a la distribución de depósitos tortonienses (Sanz de Galdeano y Alfaro, 2004).

Por lo tanto, los valores de tasas de levantamiento messinienses que se observan en la Cuenca de Málaga y su prolongación hacia el N, no deben tomarse como un rango de valores entre los cuales se encontraría el levantamiento regional de la zona, sino, más bien, como un indicador de la deformación a la que se vio sometida la región durante dicho periodo, caracterizada por un gradiente de levantamiento cuya tasa aumenta de S a N. Este gradiente ha sido estimado para el periodo Messiniense en el surco de sedimentación desde los 0,098 m/ka en el S (El Romeral) hasta los 0,256 m/ka del N (El Chorro).

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de las investigaciones del Grupo de Investigación: CM-UCM: 910368: Tectónica Activa y Paleosismicidad.

## REFERENCIAS

- Chamón, C. y R. Quinquer, (1976). *Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja nº 1.052 (Álora)*. IGME, Madrid.
- Estévez González, A. y C. Chamón, (1978a). *Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja nº 1.053/67 (Málaga-Torremolinos)*. IGME, Madrid.
- Estévez González, A. y C. Chamón, (1978b). *Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja nº 1.066 (Coín)*. IGME, Madrid.
- Haq, B.U., J. Hardenbol y P.R. Vail, (1987). Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, 235: 1156-1166.
- Insua Arévalo, J.M., J.J. Martínez Díaz, J. García Mayordomo, F. Martín González y R. Capote, (2008) Movimientos verticales plio-cuaternarios en la Cuenca de Málaga. En: *VII Congreso Geológico de España*. Comunicaciones, en este volumen.
- Sanz de Galdeano, C. y A.C. López Garrido, (1991). Tectonic evolution of the Málaga Basin (Betic Cordillera) Regional Implication. *Geodinamica Acta (Paris)*, 5(3): 173-186.
- Sanz de Galdeano, C. y P. Alfaro, (2004). Tectonic significance of the present relief of the Betic Cordillera. *Geomorphology*, 63(3-4): 175-190.
- Schoorl, J.M. y A. Veldkamp, (2003). Late Cenozoic landscape development and its tectonic implications for the Guadalhorce valley near Álora (Southern Spain). *Geomorphology*, 50: 43-57.